

Title	コーンカロリメータと着火性試験装置による合板の着火および燃焼特性測定方法に関する実験的研究(Abstract_要旨)
Author(s)	土橋, 常登
Citation	Kyoto University (京都大学)
Issue Date	2016-03-23
URL	https://doi.org/10.14989/doctor.k19698
Right	
Type	Thesis or Dissertation
Textversion	ETD

京都大学	博士（工学）	氏名	土 橋 常 登
論文題目	コーンカロリメータと着火性試験装置による合板の着火および燃焼特性測定方法に関する実験的研究		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>本論文は、建築材料の着火及び燃焼性試験を定量化し、単なる合否判定のための試験方法ではなく、材料の燃焼特性値を測定するための方法として検討したものであり、6章からなっている。</p> <p>第1章は序論であり、建築防火材料の試験として用いられる着火性試験とコーンカロリメータ試験の開発経緯と問題点を概説し、試験結果の定量化の必要性を論じている。単なる材料の等級分けのための試験ではなく、熱慣性、着火温度、着火限界熱流束等の燃焼モデリングに必要な特性値を得る方法の必要性を論じ、現状の問題点を指摘した。</p> <p>第2章では、コーンカロリメータと着火性試験装置の試験体表面の熱流を定量化した。コーンカロリメータでは水平設置と鉛直設置で熱流に大きな差はなく、試験体表面の熱流は再放射、対流、伝導の順に大きい。一方、着火性試験装置での熱流は、再放射、伝導、対流の順に大きくなっており、試験体を水平に設置したコーンカロリメータと比較すると、着火性試験装置では対流が小さく、試験体裏面への伝導が大きい。</p> <p>試験体表面温度が200～400℃における対流熱伝達率は、コーンカロリメータが13～15 W/(m²・K)程度、着火性試験装置が6 W/(m²・K)程度であった。試験体を水平に設置したコーンカロリメータの対流熱伝達率について既往の研究結果と比較すると、既往の研究では試験体表面の熱収支で試験体内部への伝導を無視している等の影響から、本研究の対流熱伝達率の方が小さい値を示した。</p> <p>第3章では、放射率を1.0に設定した赤外線カメラと熱電対で合板表面の温度を測定し、その結果から合板表面の放射率を求める方法を示した。本研究で用いた合板表面の放射率は、表面温度が約110℃～340℃の範囲での平均値で0.92となり、着火直前の材料表面の放射率は1に近い。試験体の放射率測定には多大な労力を要することを考えると、木質系材料の着火前の放射率を1で近似できることは、実用上有意義な知見である。</p> <p>第4章では、着火限界熱流束および着火時間の測定に及ぼす試験体厚さの影響を実験的に検討した。着火限界熱流束で加熱したときの合板表裏面温度の測定結果から合板表面の熱収支を計算すると、コーンカロリメータでは、試験体内部への伝導熱流は再放射と対流の合計に対する割合は約5%と小さかった。そのため、コーンカロリメータでは、着火限界熱流束の測定値は試験体厚さに殆ど影響されない。一方、厚さ9mmの合板の着火性試験では、合板表面の再放射と対流の和に対する伝導の割合は約24%となり、コーンカロリメータに比べて極めて大きかった。そのため、着火性試験装置では、着火限界熱流束の測定値は試験体厚さに依存する。</p> <p>着火限界熱流束よりも強く加熱した時の着火時間について、裏面温度上昇との関係を考察した。着火時間の測定値から熱慣性を求めるためには、少なくとも着火した時</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	土 橋 常 登
<p>間において半無限体近似が成立する必要がある。すなわち、材料の裏面温度が上昇する以前に加熱側表面温度が着火温度に達する必要がある。試験体を鉛直に設置したコーンカロリメータにおいて、種々の加熱強度で加熱したときの合板の表面と裏面温度を調べ、着火時間において裏面温度上昇が始まっているかどうかを測定し、半無限体近似が成り立つ限界の時間（熱浸透時間）と合板厚さとの関係から、着火時間において半無限近似が成立する範囲を調べた。着火時間の測定が十分な精度で可能であり、熱慣性を計算するときの回帰プロットで 4 点以上の測定値があることが望ましいことを考慮すると、試験体厚さは 9mm 以上が必要となる。また、このとき 34kW/m^2 以上の 4 つの加熱強度で測定を行う必要があることを示した。この知見は、単純な熱伝導の関係からでも予想可能であるが、実際の試験装置において実証的に確かめた。</p> <p>第 5 章では、鉛直設置でのコーンカロリメータの口火位置を変えて合板の着火時間、着火温度、発熱速度、着火限界熱流束を測定した。鉛直設置の口火位置については、ISO 5660 規格においても一義的には決められておらず、試験体の加熱面と同じ平面内で試験体ホルダー上端から 5mm の位置に設置することが Annex E で参考として書かれているが、その理由は明確には示されていない。本研究では、ISO5660 での推奨位置を含め、試験体上端高さで 1/4 インチまたは 1/2 インチ水平に離れた位置、試験体中央高さで 1/4 インチまたは 1/2 インチ水平に離れた位置に口火を設置して着火時間を測定した。</p> <p>加熱強度が大きい場合は、熱分解ガスの発生量が多いため、口火位置に殆ど依存せず着火時間は同じになる。しかし、加熱強度が小さいと口火位置によって着火時間が異なり、熱分解ガスが到達しづらい口火位置では着火時間が長くなる。着火時間が長くなると着火温度も高く測定される。最も着火時間が短くなったのは、試験体上端高さで水平方向に 1/4 インチの位置、最も長くなったのは試験体中央高さで 1/2 インチ水平方向に離れた位置であった。水平設置での着火時間に最も近いのは、ISO 5660 Annex E で推奨されている位置ではなく、試験体上部で試験体加熱側表面からヒータ側へ 1/4 インチ離れた位置である。</p> <p>着火時間が口火位置に依存するので、結果的に得られる熱慣性も口火位置の影響を受ける。熱分解ガスの到達に時間を要する位置に口火を設置すると着火限界熱流束が大きく測定される。一方、強加熱での着火時間は口火位置にあまり依存しない。従って、熱分解ガスの到達に時間を要する位置に口火を設置すると、熱慣性は見かけ上小さく算出される。</p> <p>着火直後の発熱速度のピーク値は、着火時間が短くなる口火位置では、熱分解ガスの発生が活発な状態で着火するので、最初のピーク値が大きくなる。</p> <p>第 6 章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、建築材料の着火及び燃焼性試験を定量化し、単なる合否判定のための試験方法ではなく材料の着火特性値を測定する方法として定量化するための検討を行ったものである。得られた主な成果は次のとおりである。

- (1) コーンカロリメータと着火性試験装置の試験体表面の熱流を定量的に評価した。水平設置と鉛直設置で熱伝達に大きな差はなく、試験体表面の熱流は再放射、対流、伝導の順であることを明らかにした。一方、着火性試験装置での試験体表面における熱流は、再放射、伝導、対流の順であった。試験体表面からの対流熱流を熱伝達率として表すと、コーンカロリメータでは $13\sim 15\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ 、着火性試験装置では $6\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ であった。この結果を利用して、試験結果を定量的に評価し、着火限界熱流束から着火温度を、加熱強度と着火時間の関係から材料の熱慣性を求めることができるようになった。
- (2) 合板試験体表面の放射率を測定し、着火直前の状態での放射率は実用的には 1.0 で近似できることを示した。一般に、試験体の正確な放射率測定には多大な労力が掛かることを考えると、実用上有意義な知見である。
- (3) 着火限界熱流束および着火時間の測定に及ぼす試験体厚さの影響を定量的に検討した。試験体を鉛直に設置した場合のコーンカロリメータにおいて、種々の加熱強度で加熱したときの合板の表面と裏面温度を調べ、着火までの時間において半無限体近似が成り立つ範囲を明らかにした。熱慣性を計算するときの回帰プロットで 4 点以上の測定値が必要なことと併せて考えると、合板では試験体の必要厚さは 9mm となることを示した。この知見は試験条件を管理する上でも有用である。
- (4) 鉛直設置したコーンカロリメータで口火位置を変えて合板の着火時間、着火温度、発熱速度、着火限界熱流束を測定した。加熱強度が大きい場合は、着火時間は口火位置に殆ど依存しないが、加熱強度が小さい場合には口火位置による差が大きくなることを示した。水平設置での着火時間に最も近い口火位置は、ISO 5660 Annex E で推奨されている位置ではなく、試験体上部で試験体加熱側表面からヒータ側へ 1/4 インチ離れた位置である。

以上のように、本論文は材料の着火性と燃焼性測定方法を定量化し、着火特性値を測定するための実験として再構成し、試験規格の改定および火災安全設計への適用に必要な評価法を開発する基盤となるものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 28 年 2 月 24 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。